

확률강우강도식의 형태에 따른 지속기간별 첨두유량의 변화

- 위천유역을 중심으로 -

The Variation in Peak Discharge according to the Type of Probable Rainfall Intensity Formula
-Application to Wi Stream Basin-

○박 종 영*, 이 정 식**, 이 재 준***

1. 서론

특정 수공구조물의 설계는 구조물에 최대의 부하를 걸리게 하는 상황에 대한 안전도가 보장되도록 하는 것이며, 자연하천의 제방이나 도시유역의 하수관거 등과 같은 수공구조물은 유역에서 설계홍수량을 안전하게 소통시킬 수 있도록 설계가 이루어져야 한다. 이를 위하여 유역에서 유출해석의 결과로부터 얻어지는 첨두유량의 산정이 필요로 하게 되며, 첨두유량의 산정에 영향을 미치는 주요인자로는 강우의 지속기간을 들 수 있다. 설계강우의 지속기간은 유역내 설계홍수량을 최대로 발생시키는 강우의 지속기간으로 지속기간의 변화에 따라 수문량의 변동을 가져오게 되며, 이와 아울러 지속기간동안의 강우강도를 결정하는 확률강우강도식이나 I-D-F곡선도 수문량에 영향을 미친다.

국내에서는 설계강우의 지속기간 결정을 위한 기준이 확립되지 않은 실정이며, 설계강우의 지속기간으로 유역에서의 도달시간이나 강우의 지속기간을 연장시켜가면서 첨두유량의 변화를 구하여 최대값을 야기시키는 지속기간을 사용하여 오고 있다. 일반적으로 강우의 지속기간이 길어짐에 따라 강우강도는 작아지지만 총강우량은 증가한다는 사실은 당연한 사실이며, 지속기간과 강우강도가 반비례하는 정도가 선형이 아니고 비선형으로 감소하기 때문에 지속기간-강우강도 관계는 강우의 지속기간을 단시간 및 장시간 혹은 단시간, 중시간 및 장시간 등으로 구분하여 제시되고 있다. 따라서 본 연구에서는 유역에서 최대 첨두유량을 발생시키는 강우의 지속기간을 설계강우의 지속기간의 개념으로 설정하였으며, 설계강우의 지속기간 변화에 따른 첨두유량의 변동성을 파악하였다. 이와 함께 국내에서 확률강우량을 산정하기 위하여 사용되는 여러 가지 형태의 확률강우강도식과 I-D-F곡선에 따른 지속기간별 첨두유량의 변화를 검토하고 실제유역의 도달시간과 비교·분석하여 적절한 지속기간의 결정을 통해 유역에서의 수문량을 결정하는데 있어 보다 합리적인 방안을 제시하고자 한다.

강우의 지속기간 변화에 따른 첨두유량의 변화를 파악하기 위해 미계측 유역의 유출량 산정시 국내 실무에서 널리 사용되고 있는 유출모형인 SCS 방법, Nakayasu 방법, Clark 방법과 대상유역에서 실측수문곡선으로부터 유도된 대표단위도(RUH)를 이용하였다. 그리고 확률강우강도식의 형태에 따른 첨두유량의 변동성을 검토하기 위하여 국내 실무에서 이용되고 있는 이원환(1980)의 권역 확률강우강도식, 건설부(1989)의 위천 단시간 확률강우강도식과 대구광역시(1997)의 단시간 및 장시간 확률강우강도식 등의 3가지 확률강우강도식과 손광익(1981)의 I-D-F곡선을 대상유역인 위천유역에 적용하였다.

2. 적용 대상유역 및 기본자료 분석

본 연구에서는 국제수문개발계획 대표시험유역인 경상북도 군위군에 위치하는 위천유역의 동곡지점을 대

* 금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정

** 금오공과대학교 토목, 환경 및 건축공학부 교수

*** 금오공과대학교 토목, 환경 및 건축공학부 부교수

상유역으로 선정하였다. 동곡지점은 유역면적 33.63km², 최장 유로연장 8.0km인 소유역으로 유역특성인자는 표 1과 같다.

위천유역의 강우, 유출자료를 선정하기 위하여 IHP보고서(1983~1996)에 수록된 자료의 신뢰성을 인정하고 단순호우자료를 채택하여 사용하였으며, 분석에 사용된 대상유역의 강우, 유출자료는 9개 호우사상이다.

본 연구에서는 수문해석을 위하여 ϕ -index법을 사용하여 유효우량을 산정하였으며, 경사급변점법을 이용하여 직접유출수문곡선을 산정하였다. 도달시간은 유효우량의 중점에서 직접유출수문곡선의 변곡점 사이의 시간으로 정의되는 도달시간 개념을 적용하였으며, 지체시간은 유효우량의 중심에서 직접유출수문곡선의 중심까지의 시간으로 정의하였다. 대상유역에서 산정된 도달시간과 지체시간은 표 1과 같다.

표 1. 대상유역의 유역특성 및 수문특성

유역명	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역평균 경사 (%)	유출곡선 지수	도달시간 (min)	지체시간 (min)
동곡	33.63	8.00	45.2	76	242.4	193.2

3. 강우의 지속시간에 따른 첨두유량 변화분석

강우의 지속시간에 따른 첨두유량의 변화를 파악하기 위해 대상유역에 SCS 방법, Nakayasu 방법, Clark 방법 등의 3가지 유출모형과 대표단위도(RUH)를 이용하여 유출수문곡선을 산출하였다. 이 때 확률강우강도식의 형태에 따른 첨두유량의 변화를 검토하기 위하여 4가지 경우로 나누어 분석하였으며, 이원환(1980)이 제시한 위천유역의 권역 확률강우강도식을 적용한 경우를 Case I, 건설부(1989)의 위천유역 단시간 확률강우강도식을 적용한 경우를 Case II, 대구광역시(1997)의 단시간 및 장시간 확률강우강도식을 적용한 경우를 Case III, 확률강우강도를 단시간, 중시간, 장시간으로 세분화하여 유도한 손광익(1981)의 대구지점 I-D-F곡선을 적용한 경우를 Case IV로 구분하였다. 확률강우강도식의 재현기간은 50년을 사용하였으며, 각 Case별 확률강우강도식은 표 2와 같다.

강우의 시간분포모형은 박종영 등(1999)이 제시한 바와 같이 기존의 시간분포모형 중에서 최악의 유출상황을 발생시키는 Yen과 Chow(1980)의 삼각형분포에서 무차원 계수 값이 0.75인 경우를 이용하였다.

표 2. 각 Case별 적용 확률강우강도식

Case	I	II	III		IV
확률강우강도식의 형태	$I = \frac{401.0}{\sqrt{t-1.35}}$	$I = \frac{402.0}{t^{0.417}}$	단시간	장시간	I-D-F 곡선
			$I = \frac{402.0}{\sqrt{t-0.045}}$	$I = \frac{227.14}{\sqrt{t-8.438}}$	

3.1 권역 확률강우강도식을 적용한 경우(Case I)

위천유역의 권역 확률강우강도식은 이원환(1980)에 의하여 제시된 제IV권역의 단일 확률강우강도식으로 표 2와 같다. Case I에 대한 대상유역의 강우의 지속시간에 따른 첨두유량은 표 3에 나타내었으며, 그림 1은 Case I의 결과를 도시한 것이다.

표 3과 그림 1을 살펴보면 SCS 방법과 Nakayasu 방법은 지속시간 300분에서 최대 첨두유량이 발생하고 있으며, 지속시간이 길어짐에 따라 첨두유량이 감소하고 있다. 그러나 Clark 방법의 경우 780분, 그리고 대표단위도(RUH)의 경우 900분에서 최대 첨두유량이 나타나고 있지만 지속시간이 길어짐에 따라 첨두유량의 변화가 크게 나타나지 않고 있다. 첨두유량 값을 보면 Clark 방법과 대표단위도(RUH)의 경우 첨두유량이 비슷하게 산출된 반면 SCS 방법과 Nakayasu 방법은 대표단위도(RUH)의 경우에 비해 크게 산출되었다.

3.2 대상유역의 확률강우강도식을 적용한 경우(Case II)

위천유역의 확률강우강도식은 1989년도 IHP 연구보고서에 수록된 단시간 확률강우강도식으로 표 2에 나타내었다. 대상유역에 위천유역의 확률강우강도식을 적용하여 지속시간에 따른 침투유량을 산정하였으며, 이를 표 3에 나타내었다. 그림 2는 Case II에 대한 강우의 지속시간에 따른 침투유량의 변화를 도시한 것이다.

표 3과 그림 2를 살펴보면 최대 침투유량을 발생시키는 지속시간은 Case I에 비해 유출모형별로 크게 나타나고 있다. SCS 방법과 Nakayasu 방법은 지속시간 420분, Clark 방법은 1,080분, 그리고 대표단위도(RUH)의 경우 1,200분에서 최대 침투유량이 발생하였다. 침투유량 값도 Case I의 경우와 같이 Nakayasu 방법과 SCS 방법 순으로 크게 산출되었으며, Clark 방법과 대표단위도(RUH)는 침투유량이 비슷하게 산출되었다.

표 3. 강우의 지속시간에 따른 침투유량

(단위: m³/s)

지속 기간	Case I				Case II				Case III				Case IV			
	SCS	Naka- yasu	Clark	RUH	SCS	Naka- yasu	Clark	RUH	SCS	Naka- yasu	Clark	RUH	SCS	Naka- yasu	Clark	RUH
60	170.4	204.0	73.1	75.4	198.1	237.2	85.0	87.7	151.6	181.6	65.0	67.1	190.2	227.8	81.6	84.2
120	219.9	238.3	95.6	96.3	287.6	311.8	125.0	125.9	207.8	225.2	90.3	90.1	220.9	239.5	96.1	96.8
180	246.3	251.9	111.9	111.9	341.6	349.4	155.2	155.2	238.3	243.8	108.3	108.3	244.5	250.1	111.1	111.1
240	259.6	255.8	124.2	123.5	374.5	369.1	179.3	178.2	255.1	251.4	122.1	121.3	256.4	252.6	122.7	122.0
300	266.3	256.2	133.4	134.1	395.0	380.1	197.9	195.9	264.0	254.0	132.3	130.9	258.5	248.7	129.5	128.2
360	264.8	250.4	140.6	139.6	402.2	380.4	213.5	222.1	264.7	250.4	133.2	132.1	250.4	236.8	132.9	132.0
420	263.8	248.1	146.3	144.5	408.1	383.8	226.4	223.5	237.4	223.2	131.7	130.0	237.6	223.6	131.8	130.1
480	258.2	240.6	150.3	149.0	405.5	377.8	236.1	234.0	223.7	208.3	130.2	129.0	231.6	215.7	134.9	133.7
540	254.0	237.3	153.8	151.9	404.2	377.7	244.9	241.7	212.9	199.0	129.0	127.3	221.7	207.2	134.3	132.6
600	247.6	230.2	156.0	154.0	398.6	370.4	251.2	247.9	202.2	187.9	127.4	125.8	214.0	198.9	134.8	133.1
660	242.5	226.8	157.8	155.7	394.1	369.3	257.1	253.6	193.9	181.4	126.2	124.5	206.2	192.9	134.2	132.4
720	236.2	220.2	158.8	156.3	388.2	361.9	261.0	256.9	185.2	172.7	124.6	122.7	195.2	182.0	131.2	129.2
780	231.2	216.9	159.6	157.4	383.6	360.1	264.7	261.2	178.6	167.6	123.3	121.7	190.8	179.0	131.7	130.0
840	225.4	211.1	159.6	157.5	376.8	353.0	267.0	263.3	171.6	160.8	121.6	120.0	184.8	173.1	130.9	129.2
900	220.8	208.1	159.6	157.7	371.3	350.0	268.5	265.4	166.1	156.6	120.1	118.7	181.3	170.7	131.0	129.5
960	215.8	203.2	159.3	157.6	365.5	343.2	270.1	267.1	160.6	151.2	118.6	117.3	175.2	164.9	129.4	128.0
1020	211.0	199.5	158.3	156.9	360.3	340.9	270.3	267.9	155.7	147.4	116.8	115.8	170.8	162.6	128.1	126.9
1080	206.6	195.4	157.9	156.6	354.5	335.3	270.9	268.7	150.8	142.6	115.3	114.4	167.2	158.0	127.7	126.7
1140	202.1	191.9	156.4	155.4	349.9	332.3	270.5	268.7	146.8	139.4	113.6	112.8	163.9	155.5	126.6	125.8
1200	198.0	187.9	155.4	154.5	344.5	326.9	270.6	269.0	142.8	135.5	112.2	111.6	159.7	151.5	125.5	124.8
1260	195.0	185.8	154.7	153.9	339.5	323.4	269.3	268.0	139.4	132.8	110.6	110.1	156.0	148.7	123.6	123.0
1320	191.0	181.9	153.6	153.0	335.0	318.8	269.3	268.1	135.7	129.0	109.1	108.6	153.2	145.9	123.1	122.6
1380	187.9	179.4	152.3	151.7	330.9	316.0	268.2	267.1	132.8	126.8	107.6	107.2	149.7	143.0	121.3	120.8
1440	184.6	176.3	151.3	150.8	326.1	313.6	267.3	266.4	129.8	123.9	106.3	105.9	146.1	139.5	119.7	119.2

3.3 대구광역시의 단시간 및 장시간 확률강우강도식을 적용한 경우(Case III)

지속시간에 따른 침투유량의 변화를 검토하고자 대구종합운동장(체육공원)조성 재해영향평가서(대구광역시, 1997)에서 유도된 단시간 및 장시간으로 구분되어진 확률강우강도식을 적용하였으며, Case III에 대한 대상유역의 강우의 지속시간에 따른 침투유량을 표 3에 나타내었다. 그림 3은 Case III의 결과를 도시한 것이다.

표 3과 그림 3을 살펴보면 Case I 과 II의 경우와 많은 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. SCS 방법, Nakayasu 방법은 지속시간 300분에서 최대 침투유량이 발생하고 있으며, 지속시간이 길어짐에 따라 침투유량이 급격히 감소하고 있다. Clark 방법과 대표단위도(RUH)의 경우 Case I 과 II의 경우와 달리 360분에서 최대 침투유량이 발생하며, 지속시간이 길어짐에 따라 침투유량이 서서히 감소하고 있다. 침투유량 값은 Case I 과 II의 경우와 같이 Nakayasu 방법과 SCS 방법 순으로 크게 산출되었으며, Clark 방법과 대표단위

도(RUH)는 침투유량이 비슷하게 산출되었다.

3.4 I-D-F곡선을 적용한 경우(Case IV)

확률강우강도를 보다 세분화하여 유도된 손광익(1981)의 대구지점 I-D-F곡선을 사용하여 지속기간의 변화에 따른 침투유량을 산정하였으며, 이를 표 3에 나타내었다. 그림 4는 CaseIV에 대한 강우의 지속기간에 따른 침투유량의 변화를 도시한 것이다.

표 3과 그림 4를 살펴보면 SCS 방법은 지속기간 300분, Nakayasu 방법은 240분에서 최대 침투유량이 발생하였으며, 지속기간이 길어짐에 따라 침투유량이 감소하고 있다. Clark 방법과 대표단위도(RUH)의 경우 지속기간 360분에서 최초의 침투봉을 보인 후 지속기간이 길어짐에 따라 침투유량이 과형을 보이고 있으며, 침투유량은 큰 변화없이 거의 최초의 침투봉 값이 평형유량 상태를 유지하다가 후반부에서 서서히 감소하는 추세를 보이고 있다. 따라서 Clark 방법과 대표단위도(RUH)의 경우는 최초의 침투봉이 발생하는 지속기간 360분을 최대 침투유량이 발생하는 지속기간으로 정하였다. 침투유량 값은 전술한 Case들과 같이 Nakayasu 방법과 SCS 방법 순으로 크게 산출되었으며, Clark 방법과 대표단위도(RUH)는 침투유량이 비슷하게 산출되었다.

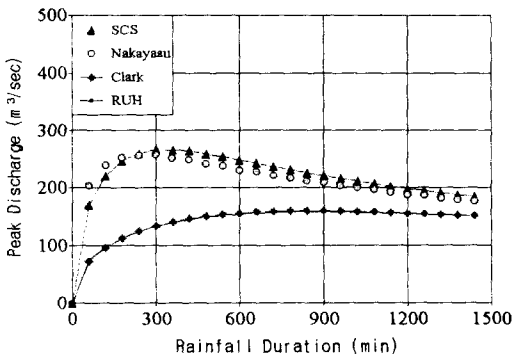


그림 1. 강우의 지속기간에 따른 침투유량 변화 (Case I)

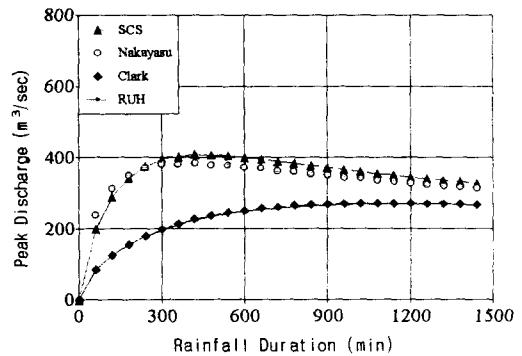


그림 2. 강우의 지속기간에 따른 침투유량 변화 (Case II)

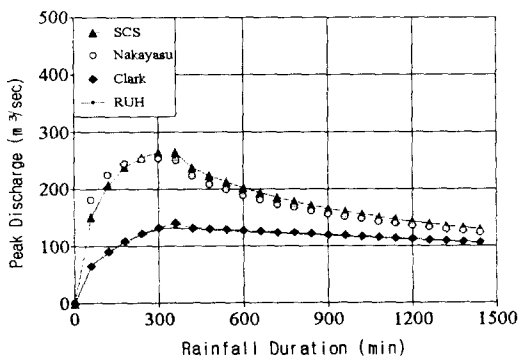


그림 3. 강우의 지속기간에 따른 침투유량 변화 (Case III)

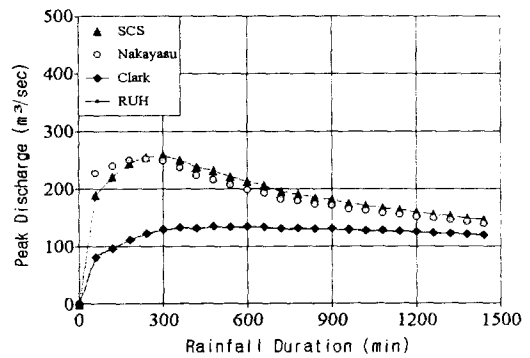


그림 4. 강우의 지속기간에 따른 침투유량 변화 (Case IV)

3.5 비교 고찰

본 연구에서는 지속기간에 따른 침투유량의 변화율을 검토하기 위해 표 1의 대상유역의 도달시간과 동일한 지속기간을 갖는 침투유량과 지속기간에 따른 최대 침투유량을 이용하여 각 Case별 침투유량의 오차를

식 (1)과 같이 산정하였다.

$$\Delta Q_{pd} (\%) = \frac{Q_{pd} - Q_{pc}}{Q_{pd}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 Q_{pd} 는 지속기간에 따른 최대 침투유량이며, Q_{pc} 는 도달시간과 동일한 지속기간에 대한 침투유량이다.

식 (1)을 이용하여 산출한 도달시간의 침투유량과 지속기간별 최대 침투유량과의 오차는 표 4와 같다. 표 4을 살펴보면 SCS 방법과 Nakayasu 방법의 경우 각 Case별로 각각 1.3~8.2%와 0.2~3.8%의 침투유량의 오차가 발생하였으며, 두 방법 모두 CaseⅡ에서 오차가 가장 크게 나타나고 있다. 이 결과들은 유역에서의 도달시간을 설계강우의 지속기간으로 사용할 경우 침투유량의 오차가 각각 1.3~8.2%와 0.2~3.8%임을 의미한다. Clark 방법과 대표단위도(RUH)의 경우 단일 확률강우강도식을 이용한 Case I 과 CaseⅡ에서 21.7~33.8%의 침투유량 오차가 발생하였으나 단시간 및 장시간으로 구분된 확률강우강도식과 I-D-F곡선을 적용한 Case Ⅲ와 Case Ⅳ에서는 상대적으로 작은 8.2~8.3%의 침투유량 오차가 발생하였다.

또한 본 연구에서는 유출모형에 따른 침투유량의 변화율을 검토하기 위해 실측수문곡선으로부터 구한 대표단위도(RUH)의 최대 침투유량과 이를 발생시키는 지속기간에서 산출된 각 유출모형의 침투유량을 이용하여 침투유량의 오차를 식 (2)와 같이 산정하였다.

$$\Delta Q_{pt} (\%) = \frac{Q_{pt} - Q_{pm}}{Q_{pt}} \times 100 \quad (2)$$

여기서 Q_{pt} 는 대표단위도(RUH)에 의한 최대 침투유량이며, Q_{pm} 은 대표단위도(RUH)의 최대 침투유량을 발생시키는 지속기간에서 산출된 각 유출모형의 침투유량이다.

식 (2)를 이용하여 산출한 대표단위도(RUH)에 의한 최대 침투유량과 각 유출모형별 침투유량과의 오차는 표 5와 같다. 표 5를 살펴보면 SCS 방법의 경우 침투유량의 오차가 28.1~100.4%로 가장 크게 발생하였으며, Nakayasu 방법의 경우 21.5~89.6%의 침투유량의 오차가 발생하였다. 그러나 Clark 방법의 경우 1% 내외의 침투유량의 오차가 발생하여 Clark 방법이 실측수문곡선으로부터 유도된 대표단위도(RUH)와 가장 일치하는 모형임을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 대상유역에 3가지 형태의 확률강우강도식과 I-D-F곡선을 적용한 경우 유출모형별로 SCS 방법과 Nakayasu 방법은 단시간 확률강우강도식(CaseⅡ)을 제외하고 최대 침투유량을 발생하는 강우의 지속기간이 대체적으로 유역에서의 도달시간과 근사한 값으로 나타났다. Clark 방법과 대표단위도(RUH)는 단시간 및 장시간으로 구분된 확률강우강도식과 I-D-F곡선을 적용한 경우가 단일 확률강우강도식을 적용한 경우보다 최대 침투유량을 발생시키는 지속기간이 유역에서의 도달시간에 근접하게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 설계홍수량 산정시 확률강우강도식의 형태가 침투유량에 영향을 미치므로 적절한 확률강우강도식이나 I-D-F곡선의 사용에 주의를 기울여야 할 것이며, 적절한 확률강우강도식이나 I-D-F곡선을 사용시 도달시간을 설계강우의 지속기간으로 사용하여도 될 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서 적용한 유출모형 중 SCS 방법과 Nakayasu 방법은 침투유량의 오차가 크게 나타나고 있으므로 미계측유역의 강우-유출해석시 적용에 신중을 기하여야 할 것으로 생각된다.

표 4. 도달시간의 침투유량과 지속기간에 따른 최대 침투유량과의 오차 (단위: %)

유출모형	Case I	Case Ⅱ	Case Ⅲ	Case Ⅳ
SCS	2.5	8.2	3.6	0.1
Nakayasu	0.2	3.8	1.0	0.0
Clark	22.1	33.8	8.3	8.3
RUH	21.7	33.8	8.2	8.2

표 5. 대표단위도(RUH)에 의한 최대 침투유량과 각 유출모형별 침투유량과의 오차
(단위: %)

유출모형	Case I	Case II	Case III	Case IV
SCS	40.1	28.1	100.4	89.7
Nakayasu	32.0	21.5	89.6	79.4
Clark	1.2	0.1	0.1	0.1
RUH	0.0	0.0	0.0	0.0

4. 결 론

- 1) 단일 확률강우강도식을 적용한 경우 유출모형에 따라 최대 침투유량을 발생시키는 지속기간에 큰 차이를 보이고 있으며, 합성단위도 모형인 SCS 방법과 Nakayasu 방법들은 단시간 확률강우강도식을 적용한 경우를 제외하고 최대 침투유량을 발생시키는 지속기간이 유역에서의 도달시간과 근사한 값을 보이고 있다.
- 2) 단시간 및 장시간으로 구분된 확률강우강도식과 I-D-F곡선을 적용한 경우 유출모형에 따라 최대 침투유량을 발생시키는 지속기간의 큰 변동성을 찾아볼 수 없었으며, 최대 침투유량을 발생시키는 지속기간이 유역에서의 도달시간과 근사한 값을 보이고 있다.
- 3) 대표단위도(RUH)와 유출모형에 의한 침투유량 오차분석 결과로부터 Clark 방법이 합성단위도 모형인 SCS 방법과 Nakayasu 방법에 비해 실측수문곡선으로부터 유도된 대표단위도(RUH)와의 적합성이 크게 나타나고 있다.
- 4) 강우의 지속기간을 결정짓는 요인의 하나로 확률강우강도식이나 I-D-F곡선을 들 수 있으며, 설계홍수량 산정시 확률강우강도식이나 I-D-F곡선의 사용에 주의를 기울여야 할 것이며, 적절한 확률강우강도식을 선택할 경우 설계강우의 지속기간으로 대상유역의 도달시간을 사용하여도 될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1983~1996). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
- 대구광역시 (1997). 대구 종합운동장(체육공원) 조성 재해영향평가서.
- 손광익 (1981). 우리나라 확률강우량 산정에 관한 수문학적 연구 -지역빈도해석을 중심으로 -. 석사학위논문, 연세대학교.
- 이원환 (1980). "도시하천 및 하수도 개수계획상의 계획강우량 설정에 관한 추계학적 해석." 대한토목학회지, 제28권, 제4호, pp. 81-94.
- 박종영, 이정식, 이재준, 심재현 (1999). "방재조절지의 설계에 필요한 강우의 시간분포 모형 결정." 1999년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.256-261.
- Yen, B. C. and Chow, V. T. (1980). "Design Hyetographs for Small Drainage Structures." *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 106, No. HY6, pp. 1055-1076.